

Traitement des boues par lits plantés de roseaux : rappels des points clés de cette technique

Alain Liénard ^a, Stéphane Troesch ^b, Pascal Molle ^a et Dirk Esser ^b

Le traitement des boues issues du traitement des eaux usées par lits de séchage plantés de roseaux est pratiqué en France depuis une quinzaine d'années. Initiée dans d'autres pays (Allemagne, notamment), elle est apparue en France au début des années 1990 suite à des recherches conduites par le Cemagref à la demande de la société SAUR¹. Cependant, les performances obtenues en France ne sont guère satisfaisantes par rapport à celles escomptées et obtenues sur le même type de station au Danemark, par exemple, où des siccités de 30 à 40 % ont été publiées. Il est donc important de rappeler ici les bases de dimensionnement et les paramètres de conception essentiels.

Historique du développement du procédé en France et des travaux de recherche du Cemagref

Les premières expérimentations (Cemagref, à la demande de SAUR), sur trois pilotes de 20 m² chacun (Liénard *et al.*, 1990), ont permis d'établir les premières bases de dimensionnement qui ont relativement peu évolué au cours du développe-

ment de la technique copiée par de nombreux autres constructeurs sans que de nouvelles recherches soient entreprises.

On peut estimer qu'environ 300 stations à boues activées, principalement dans un créneau 700-4 000 habitants, sont équipées de « lits de séchage plantés de roseaux ». Il s'en construit toujours et la tendance est à l'augmentation de la taille avec plusieurs unités dépassant les 10 000 habitants dont la plus importante en taille est vraisemblablement celle de Honfleur (dimensionnée pour 26 000 équivalents-habitants [EqH] en pointe).

Les travaux les plus récents menés par le Cemagref sur cette thématique sont effectués sur la station d'épuration d'Andancette (13 000 EqH) du syndicat intercommunal d'assainissement du Pays d'Albon (SIAPA) dans la Drôme. Le Cemagref, avec l'appui de plusieurs partenaires (agence de l'eau RM & C², Ademe³, université de Savoie, SIAPA, la SINT⁴ et Véolia-Eau), co-encadre une thèse en contrat CIFRE⁵ avec la SINT. L'objectif est de définir les meilleures conditions de dimensionnement et d'exploitation des lits de séchage plantés de roseaux.

Les contacts

a. Cemagref Lyon, UR QELY, Qualité des eaux et prévention des pollutions, 3bis quai Chauveau, CP 220, 69336 Lyon Cedex 09

b. SINT, Société d'ingénierie nature et technique, 5 rue Boyd, 73100 Aix-les-Bains

1. Société d'aménagement urbain et rural.
2. Rhône, Méditerranée et Corse.
3. Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie.
4. Société d'ingénierie nature et technique.
5. Le contrat CIFRE (convention industrielle de formation par la recherche) est un contrat passé entre le doctorant et l'entreprise qui l'embauche, ce contrat étant subventionné par le ministère de la Recherche par le biais de l'Association nationale de la recherche technique (ANRT). Il a pour but d'aider les entreprises françaises à embaucher un ingénieur ou un cadre débutant qui se verra confier un poste de recherche ou de développement.

6. Syndicat intercommunal d'assainissement.

7. Services publics d'assainissement non collectif.

8. Office national de l'eau et des milieux aquatiques.

9. Matières en suspension.

10. Comme tous les végétaux aquatiques, pour se développer dans des marais où les sols sont saturés d'eau, les roseaux ont développé la possibilité de transférer au niveau de leur racine de petites quantités d'oxygène générée par photosynthèse dans leurs partie aérienne afin de pouvoir absorber leurs nutriments uniquement sous forme oxydée.

Seize pilotes de 2 m² chacun, instrumentés pour suivre notamment l'hydrodynamique du ressuyage dont les données sont collectées sur une centrale d'acquisition avec les conditions météorologiques, sont installés dans l'enceinte de la station du SIA⁶. Cette expérimentation permet également d'étudier la faisabilité du traitement des matières de vidange qui devient une préoccupation croissante avec la mise en place des SPANC⁷. Pour ce faire, huit d'entre eux reçoivent une partie des matières de vidange collectées sur le territoire du syndicat et font l'objet d'un suivi (Liénard *et al.*, 2008), alors que les huit autres sont alimentés avec les boues de la station d'épuration en aération prolongée et sont dédiés à des études sur les charges admissibles, les rythmes d'alimentation-repos, la couche filtrante à l'interface des boues, l'augmentation des siccités et de la minéralisation et l'aération passive. Les travaux, financés par l'Onema⁸, vont se poursuivre par une seconde thèse qui démarrera en octobre 2008 en vue d'étendre l'utilisation des lits de séchage plantés dans les départements et territoires français d'outre-mer et à Mayotte.

Par ailleurs, le Cemagref a également entrepris une diversification avec un essai de traitement des boues primaires régulièrement extraites d'une surprofondeur en tête d'une lagune naturelle (Torrens *et al.*, 2006).

Fonctionnement et mécanismes en jeu

Le séchage des boues sur lits plantés de roseaux repose sur la mise en place d'un massif filtrant reconstitué, de granulométrie croissante de la surface vers le fond et drainé, sur lequel des boues sont progressivement disposées et dans lequel des roseaux se développent.

Le fonctionnement tient au fait qu'autour de chaque tige de roseaux, il existe en permanence un anneau libre pour le passage de l'eau interstitielle de la boue activée alors que les MES⁹ (le floc) sont retenues en surface et s'accumulent progressivement. Dès lors qu'elle peut s'écouler le long des tiges, rhizomes et racines des roseaux, l'eau interstitielle va percoler au sein du massif pour être drainée à sa base et renvoyée en tête de station.

Le bon fonctionnement du procédé repose donc sur un développement dense des roseaux de manière à ce que l'eau puisse être évacuée en

permanence et en tous points dans les lits. En été, en plus de cette évacuation gravitaire et rapide de l'eau libre, les roseaux vont aussi accélérer la déshydratation par évapotranspiration.

Pour que les roseaux¹⁰ se développent au mieux dans un milieu chargé en matière organique et pouvant rapidement devenir fermentescible, il est nécessaire de maintenir en toutes circonstances des conditions aérobies également propices à la minéralisation de la boue accumulée.

La filtration et les roseaux

La filtration des MES est assurée par la mise en place de matériaux de granulométrie adaptée pour retenir le maximum de matière organique à la surface des lits et éviter une pénétration excessive de particules au sein même du massif filtrant. Le colmatage de ce dernier nuirait au ressuyage et créerait des conditions anaérobies néfastes pour le développement des roseaux qui ne peuvent absorber les sels minéraux, nécessaires à leur croissance, que sous forme oxydée.

Pour limiter les coûts d'investissement, on vise cependant à réduire les surfaces et à apporter la charge de boues la plus importante possible mais sans mettre en péril le développement des roseaux (voir supra « dimensionnement »). Les boues sont très organiques (teneurs en matières volatiles de l'ordre de 70 %) et fermentescibles. Les risques liés à un surdosage ou à une gestion approximative ne peuvent être ignorés, surtout en saison hivernale. Cette période est évidemment la plus délicate pour de multiples raisons :

- elle est peu propice au ressuyage (les précipitations peuvent être importantes et le gel bloque l'eau sous forme de glace ce qui empêche son écoulement) ;

- la partie aérienne des roseaux est flétrie et la continuité du ressuyage par la persistance d'un anneau libre à l'écoulement n'est donc pas assurée (les tiges sont couchées et l'effet de réalésage par les oscillations dues au vent est minime, voire absent) ;

- enfin toute activité biologique est ralentie.

Si la partie aérienne des roseaux est flétrie, leur système racinaire est toutefois encore actif et il convient de le maintenir dans des conditions adaptées à la reprise de la croissance au printemps. Les jeunes pousses (photo 1), émises au printemps depuis les nœuds des rhizomes (tiges souterraines), profiteront des réserves amassées

dans ces derniers au cours de l'automne, pour percer le stock de boues accumulées au cours de l'hiver. Il faut donc que les racines et rhizomes colonisent toute la boue et ne restent pas cantonnés aux seules couches drainantes du fond des lits, car il serait de plus en plus difficile à de nouvelles pousses de traverser toute la hauteur de boue pour arriver à la lumière du jour après plusieurs années de stockage.

La minéralisation de la matière organique

Conjointement, on doit pouvoir accumuler les boues sur une hauteur supérieure à un mètre pour espacer autant que faire se peut la vidange des lits. Comme entrevu précédemment, il importe que la minéralisation de la matière organique dans le stock de boue soit également aussi aérobie que possible pour favoriser la bonne croissance des roseaux. À l'aide de pilotes de 60 m², plantés ou non de roseaux, mis en place à Ulm en Allemagne, Hofmann (1990) mettait en évidence l'action positive des roseaux sur la siccité et la minéralisation des boues apportées pendant trois ans suivis d'une année de repos à une dose de 20 à 30 kg de MS¹¹.m⁻².an⁻¹. Il notait également leur action positive sur le potentiel d'oxydo-réduction, notamment dans l'horizon profond, et constatait une nitrification plus importante dans les percolats des lits plantés. À notre connaissance, d'autres études de ce type n'ont pas été réalisées sur les boues, mais plusieurs auteurs (Münch *et al.*, 2005 ; Gagnon *et al.*, 2007) confirment que les roseaux stimulent la croissance et l'activité des bactéries au voisinage de leurs racines ; l'effet rhizosphère est donc bien une réalité.

Le volume de boues amené à chaque alimentation, la fréquence d'alimentation et la gestion des périodes de repos aboutissant au craquèlement superficiel de la boue, sont aussi des facteurs importants qui influent sur les cinétiques de minéralisation et le maintien de conditions aérobies propices à la croissance des roseaux.

Les percolats drainés par le réseau de drains au fond des lits sont renvoyés en tête de station d'épuration ; ils ne sont pas septiques et ne peuvent donc pas favoriser le développement de certaines bactéries filamenteuses qui nuiraient au fonctionnement général de la station, et particulièrement à la clarification.

Enfin, la minéralisation, qui se traduit idéalement par des rejets d'eau, de sels minéraux dissous et



▲ Photo 1 – Jeunes pousses de roseaux émergeant des boues – station d'Andancette (photo Stéphane Troesch).

de gaz carbonique, contribue à la limitation du volume de boues à extraire (de 15 à 20 %) et à l'allongement du cycle de fonctionnement avant vidange¹².

Règles de dimensionnement et de gestion des lits conseillées

Le dimensionnement global des lits

Le dimensionnement global des lits est le paramètre fondamental pour que les roseaux se développent correctement et que les performances soient à la hauteur des attentes (siccité moyenne d'environ 25 % et boues stabilisées [voir plus loin]). Il dépend de deux facteurs qui s'estiment sur une base annuelle : la production de boues (en kg de MES¹³.an⁻¹) et la charge surfacique (en kg de MES.m⁻².an⁻¹) à appliquer en routine lorsque les roseaux ont atteint un développement optimal après la phase d'acclimatation-développement.

La production annuelle de boues

Elle se calcule à partir de la production journalière multipliée par 365. Si la production journalière de boues de la station n'est pas indiquée clairement dans le dossier ainsi que son mode de calcul, elle peut être estimée à partir de la charge journalière en DBO¹⁴ et MES admises au nominal et du rendement moyen de la station pour ces deux paramètres, en appliquant la formule dite « du binôme » :

11. Matières sèches.

12. Dans cet article, elle est aussi dénommée indistinctement « curage » des lits, sans différenciation sur la façon de faire.

13. Voir l'encadré 3, p. 43, dans l'article « Le traitement des matières de vidange : en station d'épuration ou en lits plantés de roseaux ? » du numéro 53 de la revue *Ingénieries-EAT* (mars 2008).

14. Demande biochimique en oxygène.

MS (kg/jour) = 0,84 [(DBO + MES)/2], ou sa forme simplifiée : MS = 0,84 x DBO (kg/j). La constante 0,84 est souvent retenue pour estimer la production de boues en réseau relativement séparatif. Pour les réseaux unitaires, susceptibles de collecter des particules minérales, la constante peut prendre des valeurs plus élevées jusqu'à 1,02 (Duchène, 1999).

Il faut aussi inclure, par exemple, la surproduction de boue induite par une éventuelle déphosphatation physico-chimique qui entraîne une augmentation d'environ 20 % de la production de boue pour 4,0 g de P¹⁵/EqH (Deronzier *et al.*, 2004 – avec une charge de 2,5 g de P/EqH, on peut estimer cette production à 10 %).

15. Phosphore.

16. Demande chimique en oxygène.

La production de matières de vidange (MV) peut être estimée à 6 kg de MES et 8 kg de DCO¹⁶ par an et par habitant raccordé à une fosse toutes eaux sur la zone de collecte. Si elles sont déposées dans la « file eau » de la station, ces MV représenteront, en tenant compte des incertitudes liées à la variabilité du produit (notamment du fait que beaucoup de fosses septiques recevant uniquement des eaux vannes font encore partie du parc) et à la production de biomasse que la fraction biodégradable engendre (Mesnier, 2007), une production de 5,5 kg de MES.hab⁻¹.an⁻¹ qui s'ajouteront à la production de boues de la station (l'admission directe des MV sur les lits de séchage n'est pas traitée dans cet article, *cf.* Liénard *et al.*, 2008).

La charge surfacique

Cette charge a jusqu'à maintenant été fixée de manière assez empirique à 50 kg de MES.m⁻².an⁻¹ (Liénard, 1999), et ce chiffre correspond également à celui retenu à la même époque par Steen Nielsen au Danemark, qui est aujourd'hui considéré comme la personne ayant, au niveau mondial, la plus grande expérience dans le domaine,

étant donné qu'il conçoit et gère directement, via la société Orbicon, le plus grand parc de lits de séchage dans un pays où 25 à 30 % des boues sont ainsi traitées dans des stations de tailles plus importantes que celles du marché français (une station est même conçue pour traiter 2 200 tonnes de MS.an⁻¹ dans 13 lits de séchage, totalisant environ 6 hectares).

Les travaux en cours à Andancette et de récents échanges avec S. Nielsen montrent que la charge surfacique doit être établie en tenant compte des surcharges passagères qui résultent de la mise au repos d'un (ou plusieurs) lit(s) préalablement à sa (leur) vidange au cours d'un cycle de vidange qui ne doit pas s'étaler sur plus de cinq ans. Ces temps de repos, dont la durée est aujourd'hui estimée à cinq mois chaque année durant un cycle de vidange (voir plus loin « vidange »), ne doivent pas entraîner un dépassement équivalent à 60 kg de MS.m⁻².an⁻¹.

Le tableau suivant révèle que pour la configuration à six lits, le dimensionnement global devrait être établi avec une charge surfacique n'excédant pas 48 kg de MS.m⁻².an⁻¹ pour ne pas dépasser 60 kg de MS.m⁻².an⁻¹ sur les quatre autres lits laissés en service pendant que les deux à vidanger sont au repos.

Pour les lits en déblai-remblai, la surface de filtration est calculée à 0,5 m au-dessus du haut du massif filtrant, considérant que les boues s'accumulent globalement sur l'ensemble des lits à 1 m de hauteur.

Il faut garder en mémoire que des charges surfaciques trop élevées vont nuire au bon développement des roseaux, à la minéralisation et à la siccité des boues. Ce que l'on peut espérer gagner en investissement sera immanquablement perdu en performances et en exploitation, avec de surcroît, un risque de dysfonctionnement important.

▼ Tableau 1 – Simulation de l'incidence d'un temps de repos de cinq mois au moment de la vidange sur différentes configurations d'installations.

Nombre. total de lits	Durée d'un cycle complet de vidange	Charge dimensionnement/surface de filtration (50 cm au-dessus si déblai-remblai) kg de MS.m ⁻² .an ⁻¹	Charge maximum reçue en phase de curage kg de MS.m ⁻² .an ⁻¹
6	3 ans	48 (42,8)	60,7
8	4 ans	50 (45)	60,1
10	5 ans	50 (44,5)	56

Les autres points de conception

LE NOMBRE DE LITS

La configuration actuelle des installations, qui ne comportent en général que quatre lits, est insuffisante et ne peut conduire, à charge nominale, à une siccité de plus de 15 % (Liénard, 1999), contre 30 % ou plus annoncés par des constructeurs. Les stations de 3 000 habitants et plus devraient comporter au moins huit lits pour disposer de périodes de repos longues et indispensables pour atteindre de meilleures siccités et minéralisations. L'expérience danoise (Nielsen, 2004) prouve en effet que, à surface égale, passer de quatre à huit lits permet de rallonger sensiblement la période de fonctionnement (avant curage), d'augmenter la siccité finale des boues et donc de diminuer les coûts d'exploitation. Toutefois, pour les stations de moins de 2 000 EqH, une simulation des coûts de construction, montre que quatre lits réalisés en déblai-remblai, dimensionnés à seulement 30 kg de MES.m⁻².an⁻¹ sont moins coûteux à construire (hors acquisition du terrain) que huit lits dimensionnés à 50 kg de MES.m⁻²/an⁻¹.

LA DENSITÉ DE PLANTATION

Des roseaux *Phragmites communis* ou *australis*, sont plantés à une densité minimale de quatre pieds par m² (une plantule tous les 50 cm dans les deux directions) sur le massif qu'ils colonisent progressivement avec d'autres tiges émises depuis les nœuds des rhizomes. Il est cependant possible d'augmenter cette densité à neuf plants par m², soit un pied tous les 30 cm, mais il n'est pas utile de planter plus densément car les jeunes roseaux doivent se développer eux-mêmes dans ce milieu hostile pour atteindre la densité voulue avant d'alimenter à la charge nominale.

Des auteurs (Hardej et al., 2002) recommandent de choisir des plantes issues de graines de roseaux provenant de filtres plantés de roseaux en traitement d'eaux usées ou de lits de séchage de boues¹⁷ qui se sont progressivement adaptés à vivre dans des conditions plus difficiles que dans leur milieu naturel. La période de plantation privilégiée est comprise entre avril et août. Les roseaux des lits de séchage de boues ne sont jamais faucardés.

LA PÉRIODE INITIALE D'ACCLIMATATION-DÉVELOPPEMENT DES ROSEAUX

Son importance est cruciale. Elle doit durer au moins un an jusqu'à ce que la densité atteigne 250 tiges.m⁻². Au cours de celle-ci, les lits doivent

être alimentés à demi-charge (25 kg de MES.m⁻².an⁻¹, sur la base de l'aire en surface du massif filtrant), en veillant conjointement à ce que les roseaux ne flétrissent pas faute d'un déficit hydrique du fait que la couche drainante n'a aucune réserve utile et que la couche de boue est encore très faible. Pour éviter la sécheresse du massif filtrant, les apports en boues pourront être plus fréquents et les périodes de repos plus courtes qu'en fonctionnement routinier. Avant les premières alimentations en boue, on pourra mettre en charge la couche drainante avec l'effluent de rejet de la station (pendant tout l'été, par exemple, en bouchant les drains), mais on la vidangera rapidement juste après le premier apport, en surveillant néanmoins l'état des roseaux.

LA COUCHE DRAINANTE DES LITS

Les lits sont composés d'un massif filtrant à fond étanche constitué de différentes couches de matériaux de granulométries diverses qui reposent sur un radier (Liénard, 1999).

Du bas vers le haut :

- couche de galets (de 15/30 mm à 30/60 mm) sur environ 15 cm, recevant également les drains avec fentes tournées en partie vers le bas pour éviter toute stagnation d'eau et conjointement aérer la couche drainante (cf. infra) ;

- couche de transition (10 cm) d'une taille de particules intermédiaire¹⁸ entre les deux couches qu'elle sépare ou utilisation d'une géogrille (de type tridimensionnelle Enkamat 7225 de Colbond ou Macmat de Maccaferri, par exemple) ;

- couche de gravillon (3/6 mm) sur 25-30 cm. Dans tous les cas, ce gravier doit être supérieur à du 2/4 mm pour éviter la migration d'éléments trop fins vers la couche du fond ;

- 10 cm d'amendement organique de type « compost vert » répondant à la norme NF U 44-051. Ce matériau utilisé conjointement comme support de filtration et de croissance a permis d'obtenir un développement végétal plus dense que celui observé avec une couche de 5 cm de sable grossier. Sans encore connaître l'ensemble des interactions sur la déshydratation de la boue via des connexions capillaires, ce matériau constitue à ce jour un bon compromis.

LA PENTE

Une pente d'environ 0,5 % est nécessaire en fond de massif pour drainer correctement les percolats.

17. Les jeunes plants utilisés proviennent de la germination de graines qui sont repiquées dans des godets plastiques d'une dizaine de centimètres de côté garnis de terreau et qui sont arrosés de solutions nutritives par les pépiniéristes spécialisés. Des plants sont considérés comme robustes, si le repiquage a été réalisé depuis au moins un an et demi et qu'ils comportent au moins cinq tiges émanant des nœuds des rhizomes.

18. Voir règles de Terzaghi, p. 27 du cadre-guide pour un cahier des clauses techniques particulières des filtres plantés de roseaux pour les eaux usées. [http://www.lyon.cemagref.fr/qe/epuration/documents/CadreguideCCTP_FPR\(PATCemagref\).pdf](http://www.lyon.cemagref.fr/qe/epuration/documents/CadreguideCCTP_FPR(PATCemagref).pdf)

La nécessaire horizontalité de la surface sera rattrapée avec la couche de gravillons ou avec la couche de transition si elle est mise en place.

LA COUCHE DRAINANTE

Elle est mise en contact avec l'atmosphère *via* des **cheminées d'aération** au bout des drains, afin que l'oxygène diffuse dans les interstices du milieu granulaire pour favoriser un fonctionnement aérobie.

LA REVANCHE UTILE AU-DESSUS

DU MASSIF FILTRANT

Elle doit être d'environ deux mètres pour garder une trentaine de centimètres de garde au-dessus des boues accumulées sur les derniers lits à vidanger (tableau 3).

LE SYSTÈME D'ALIMENTATION

Les boues, provenant directement du bassin d'aération (produit homogène et parfaitement représentatif du taux de boue dans la station), après une séquence d'aération/homogénéisation (pompées loin de l'entrée des effluents dans le bassin d'aération et loin du retour de la recirculation), sont épandues en surface du lit en service, à raison d'une à deux séquences par jour. Le dispositif d'alimentation doit permettre une bonne distribution des boues sur la totalité du lit en service. Pour ce faire, les pompes doivent absolument délivrer un débit effectif supérieur à $0,25 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ ($4,2 \text{ l} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$). Les points d'alimentation sont généralement espacés de 5 à 6 m sur une des longueurs des lits en béton. Pour des lits en déblai-remblai, la surface unitaire des lits (au niveau de la surface de la couche drainante) est divisée en carrés d'environ 100 m^2 et un point d'alimentation est placé au centre de chacun d'eux. Chaque point

est équipé d'une plaque déflectrice pour casser le jet, améliorer la répartition des boues et éviter les affouillements.

La gestion en phase de fonctionnement routinier

Des phases de repos sont essentielles au bon fonctionnement du système, à sa fiabilité et sa pérennité. Pendant celles-ci, la siccité de la boue augmente, par simple ressuyage en hiver, auquel s'ajoute l'évapotranspiration dès que la partie aérienne des plantes se développe. L'oxygène peut aussi pénétrer depuis la surface dans la masse de boue, *via* des craquèlements et des fentes de retrait qui se créent quand le produit se déshydrate, en plus des espaces libres autour des tiges. Tous ces processus favoriseront la minéralisation aérobie, garantissant un stockage du produit sans dommage pour les roseaux eux-mêmes et l'environnement immédiat (absence d'odeurs), tout en minimisant l'accroissement de la hauteur du stock de boue.

Quand le stock de boues accumulé limite les risques de carence hydrique des plantes en saison estivale, il est conseillé d'allonger le cycle d'alimentation sans qu'il excède cependant deux semaines pour obtenir des périodes de repos plus longues et, corrélativement, une siccité plus élevée, des fentes de retrait en surface donc une aération complémentaire et une minéralisation plus importante.

Au Danemark, comme le montre le tableau 2, les périodes de repos sont guidées non seulement par la durée de l'alimentation mais aussi par l'épaisseur du stock de boues qui s'accroît au fil des années et qui apporte aux roseaux une réserve hydrique que les couches drainantes n'ont pas à l'origine.

▼ Tableau 2 – Durées respectives d'alimentation et de repos de chaque lit et doses de boues apportées sur le lit à chaque période d'alimentation pour des stations de huit à dix lits (d'après Nielsen, 2003).

Années de service	Nombre de jours d'alimentation par lit	Nombre de jours de repos par lit	Apport de MES recommandé à chaque période d'alimentation ($\text{kg MES} \cdot \text{m}^{-2}$)
1	1-4 (acclim.dev.)	10-20	1-3
2	4-5	30-40	3-6
3	5-6	50-55	6-7
4	7-8	55-65	7-9
8	14*	100-120*	10-12 voire 15

* Valeurs extrapolées.

Néanmoins, au-delà des valeurs indicatives données par le tableau 2, Steen Nielsen pense qu'il n'est pas opportun de prolonger une période d'alimentation quand le débit de ressuyage des lits devient inférieur à $0,3 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$, car cela va nuire à l'obtention de siccités élevées et, comme nous l'avons vu, au maintien de conditions aérobies essentielles. Un outil de pilotage intéressant peut donc consister à mettre en place un canal de mesure débitométrique (et le réseau de drainage afférent) adapté sur les retours en tête des percolats sachant qu'ils peuvent atteindre cinq fois cette valeur, au début d'une période d'alimentation.

LA VIDANGE DES LITS

Elle est évidemment programmée en été pour tirer partie de l'évapotranspiration des roseaux. La mise au repos prolongée d'un lit, avant curage, permet bien sûr d'accroître la siccité des boues (planifier l'arrêt de l'alimentation vers le 15 mai pour une date de curage entre le 15 juillet et fin août au plus tard).

On ré-alimente le(s) lit(s) vidangé(s) à mi-charge jusqu'à fin octobre, ensuite la dose nominale est équitablement répartie sur tous les lits pendant l'hiver. En supposant un arrêt avant vidange de quatre mois et deux mois d'alimentation à mi-charge, on arrive aux cinq mois d'arrêt pris en compte dans la simulation du tableau 1 qui peut être complété par le tableau 3.

Contrairement à ce qui était préconisé (Liénard, 1999), une surcharge estivale dans les premières années précédant la vidange n'est plus recommandable pour laisser aux roseaux le temps de bien s'établir au-delà de la période d'acclimatation-développement.

Lors du curage, une dizaine de centimètres de boue résiduelle est volontairement laissée au fond

des ouvrages pour faciliter la repousse à partir des rhizomes restés en place. Cela maintient une humidité suffisante pour la reprise des roseaux et on ne risque pas de déstabiliser les couches drainantes sous-jacentes avec le godet de curage.

Conclusion

Les lits de séchage de boues plantés de roseaux existent certes depuis une quinzaine d'années en France, mais le fort contexte concurrentiel qui prévaut entre concepteurs-constructeurs d'une part, et exploitants en affermage ou en régie d'autre part, ainsi que l'absence d'échanges entre ces deux parties, n'ont pas permis jusqu'à maintenant de capitaliser l'expérience de chacun et de la diffuser pour aboutir à un système donnant pleinement satisfaction. Quand on compare avec la situation qui prévaut au Danemark, les siccités obtenues en France, qui avoisinent seulement 15 %, sont décevantes.

Les stations les plus anciennes sont souvent constituées de quatre lits, et quelques fois seulement de deux, ce qui ne permet pas de mettre en place des conditions de fonctionnement satisfaisantes avec des charges surfaciques de $50 \text{ kg de MS}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{an}^{-1}$. Dans la recherche des offres les « moins-disantes », certains constructeurs ont aussi tendance à minimiser les surfaces, ce qui est préjudiciable, comme le montre l'expérience danoise qui est progressivement arrivée à exclure toute surcharge dépassant $60 \text{ kg de MS}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{an}^{-1}$ sur les lits encore en fonctionnement pendant qu'est mis en arrêt prolongé celui ou ceux qui doivent être prochainement vidangés.

Dans les lits de séchage, les roseaux sont en effet soumis à des conditions difficiles et il faut prendre toutes les dispositions pour qu'ils se développent

▼ Tableau 3 – Simulation des curages pour différentes configurations ainsi que les hauteurs minimales (après ressuyage) et maximales (prenant en compte un « gonflement » du stock de boue d'une vingtaine de centimètres suite à une alimentation) de boues accumulées dans les lits.

Nombre total de lits	Année du 1 ^{er} curage préconisée*	Hauteur des premiers lits curés (en fin période de repos, en cm)	Hauteur des derniers lits à curer (après alimentation, en cm)	Nombre d'année(s) entre deux cycles de vidange
6	5	87	163	3
8	4	63	165	2
10	3	40	165	1

* Après la période d'acclimatation-développement.

19. Voir dans ce même numéro, p. XX-XX, l'article de Lienard *et al.* (2008), Valorisation des boues traitées en lits plantés de roseaux : premiers retours d'expérience des curages – épandages sur quelques stations françaises.

densément, car c'est autour des tiges que s'évacue l'eau interstitielle de la boue. Cette dernière est prélevée directement dans le bassin d'aération pour qu'elle soit la plus fraîche possible. C'est également dans cet ouvrage que l'on peut obtenir une concentration représentative de la quantité totale de boues dans la station afin d'optimiser la gestion de cette dernière au regard des charges polluantes que reçoit la station, et ainsi de caler la charge massique et le temps de séjour des boues au regard de la qualité de l'effluent fixée par la réglementation.

Dans le cadre d'un projet de recherche en cours et en suivant finement le fonctionnement d'une station de la Drôme, composée de huit lits de séchage depuis bientôt trois ans, le Cemagref a pu constater qu'en doublant le temps de repos et en vidangeant en plein été, des siccités moyennes représentatives de l'ensemble du(es)

lit(s) à vidanger d'au moins 25 % doivent pouvoir être obtenues si la densité des roseaux est élevée (supérieure à 250 tiges par m²). Pour ce faire, il faut veiller scrupuleusement à respecter une période d'acclimatation-développement de jeunes plants robustes qui s'étale sur au moins une année, sans dépasser 25 kg de MS.m⁻².an⁻¹.

Une étude¹⁹ révèle que l'obtention d'une siccité moyenne effective d'au moins 25 % de MS à la vidange, conjuguée aux qualités mécaniques de la boue, permettraient de lui conférer un statut de boue stabilisée solide et donc d'envisager un stockage en bout de champs, qui assouplirait l'organisation du chantier aval d'épandage.

Il reste toutefois à vérifier que la nouvelle directive européenne sur les boues, en cours de rédaction à la date de cette publication, permette ces facilités. □

Remerciements

Les auteurs remercient particulièrement Lysanne Bour (agence de l'eau RM & C) pour la relecture, les corrections et les amendements qu'elle a apportés à cet article.

Résumé

Les lits de séchage de boues plantés de roseaux existent en France depuis le début des années 1990. Ces installations souvent composées de quatre lits, alimentés chacun pendant une semaine en alternance, souffrent de performances insuffisantes avec une siccité qui avoisine seulement 15 % contre 30, voire 35 % au Danemark où la technique est largement répandue. Un nombre supérieur de lits (six à huit, voire plus pour des stations supérieures à 15 000 habitants) dimensionnés globalement pour 50 kg de MES.m².an⁻¹, permettant des périodes de repos plus longues entre chaque alimentation, serait déjà un progrès. Mais le point essentiel réside dans le respect d'une période d'acclimatation-développement des roseaux à mi-charge, jusqu'à ce que la densité soit au moins de 250 tiges par m².

L'obtention d'une bonne siccité est liée au fait que le(s) lit(s) à vidanger soient soumis à un arrêt de quatre mois avant la vidange qui doit normalement se programmer entre mi-juillet et fin août pour permettre au roseaux de repousser avant l'hiver, sachant qu'il seront réalimentés à mi-charge jusqu'à fin octobre. Pendant l'hiver la production de boues de la station est uniformément répartie entre tous les lits.

Abstract

Sludge drying reed beds exist in France since the early 1990s. These facilities often consisting of 4 beds each being alternately fed during a week have inadequate performance with a dryness around only 15% against 30 or 35% in Denmark where this technology is widespread. A higher number of beds (6 to 8, or more for stations above 15 000 inhabitants) sized globally for 50 kg of MES.m².an⁻¹, allowing longer rest periods between each feeding, would be a progress. But the essential point lies in respect of a period of acclimatization-development of reeds at mid-load, up to what the density is at least 250 stems per m². An acceptable dry-matter content of approximately 25% should be obtained if the loadings of the bed(s) to be withdrawn are stopped 4 months before being emptied in summer (between mid July and the end of August). The beds emptied are fed at half load until the end of October considering that the sludge production of the treatment plant should be distributed on all beds during winter.

Bibliographie

DERONZIER, G., CHOUBERT J.-M., 2004, *Traitement du phosphore dans les petites stations d'épuration à boues activées. Comparaisons techniques et économiques des voies de traitement biologique et physico-chimique*, Cemagref Éditions, Antony, Documentation technique FNDAE, n° 29, 49 p.

DUCHENE, P., 1999, *Estimation de la production des boues*, Note technique Cemagref, 99/0688, 10 p.

GAGNON, V., CHAZARENC, F., COMEAU, Y., BRISSON, J., 2007, Influence of macrophyte species on microbial density and activity in constructed wetlands, *Water Science and Technology*, 56, n° 3, p. 249-254.

HARDEJ, M., OSIMEK, T., 2002, The effect of sewage sludge flooding on growth and morphometric parameters of *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steudel, *Ecological Engineering*, n° 18, p. 343-350.

HOFMANN, K., 1990, Use of *Phragmites* in sewage sludge treatment, in : *Constructed Wetlands in Water Pollution Control*, COOPER, P.-F., FINDLATER, B.-C. (Eds), Pergamon Press, p. 269-277.

LIÉNARD, A., ESSER, D., DEGUIN, A., VIRLOGET, F., 1990, Sludge dewatering and drying in reed beds : an interesting solution ? General investigation and first trials in France, in : *Constructed Wetlands in Water Pollution Control*, COOPER, P.-F., FINDLATER, B.-C. (Eds), Pergamon Press, p. 183-192.

LIÉNARD, A., 1999, Déshydratation des boues par lits de séchage plantés de roseaux, *Ingénieries-EAT*, n° 17, p. 33-45.

LIÉNARD, A., CANLER, J.-P., MESNIER, M., TROESCH, S., BOUTIN, C., 2008, Le traitement des matières de vidange : en station d'épuration ou en lits plantés de roseaux ?, *Ingénieries-EAT*, n° 53, p. 35-48.

MESNIER, M., 2007, *Matières de vidange issues de l'assainissement non collectif : caractérisation de leur composition et étude des différentes filières adaptées à leur traitement*, rapport de fin d'études de master 2, université de Franche-Comté, 50 p. + annexes.

MÜNCH, C., KUSCHK, P., RÖSKE, I., 2004, La stimulation racinaire de l'élimination de l'azote concerne-t-elle des zones limitées ou l'ensemble d'un marais artificiel, communication présentée à la Conférence IWA d'Avignon en septembre 2004, traduite en français, *Ingénieries-EAT*, n° spécial Assainissement, marais artificiels et lagunage : retours d'expérience en Europe, p. 5-11.

NIELSEN, S., 2003, Sludge drying reed beds, *Water Science and Technology*, 48, n° 5, p. 101-109.

NIELSEN, S., 2004, Lits de séchage de boues plantés de roseaux : fonctionnement et problèmes, communication présentée à la Conférence IWA d'Avignon en septembre 2004, traduite en français, *Ingénieries-EAT*, n° spécial Assainissement, marais artificiels et lagunage : retours d'expérience en Europe, p. 67-75.

TORRENS, A., MOLLE, P., BOUTIN, C., SALGOT, M., 2006, *Association of Stabilization Ponds and Intermittent Sand Filters : an appropriate wastewater treatment system for small communities*, Proceedings, 7th International Conference on Small Water and Wastewater Systems, Mexico.

